



Tópico 4 – Nº 31

PUENTES DE HIERRO SOBRE CANALES ALIVIADORES DEL RÍO SALADO: EVALUACIÓN DE PATOLOGÍAS

Aversa, Maria (1); Grau, Jorge (2); Gregorutti, Ricardo (3).

(1) Arquitecta. LEMIT – CIC. mma_arq@yahoo.com.ar

(2) Ingeniero Metalúrgico. LEMIT-CIC. metalurgia@lemit.gov.ar

(3) Ingeniero Metalúrgico. LEMIT-CIC

RESUMEN

A partir del siglo XIX se comenzó a plantear un plan de control de inundaciones en el área de la pampa deprimida al sur del río Salado en la provincia de Buenos Aires, tema de discusión a nivel provincial y nacional. Por la misma época Florentino Ameghino había advertido la necesidad de atender la cuestión de los drenajes, no solo por las inundaciones sino por las áreas secas y la importancia de canalizar y retener las aguas más que desaguarlas al río [1].

El gobierno de la Provincia de Buenos Aires comenzó a realizar en 1893 las tratativas legales para sanear el área, y construir las obras. En 1896 se creó la Dirección de Desagües de la Provincia de Buenos Aires, responsable de las obras, que comprendieron la construcción de 19 canales de desagües y aliviadores distribuidos en el territorio sudeste de la provincia. Del mismo modo, se realizaron obras accesorias y de artes pertinentes en los caminos rurales que fueron atravesados. En este contexto, interesa particularizar el análisis en dos puentes de hierro ubicados sobre el Canal N° 15 -aliviador del río Salado- en el partido de Castelli.

Palabras claves: *patologías - hierro – puentes*

1. INTRODUCCIÓN

El hierro como material en las obras de ingeniería ha aportado amplias posibilidades para resolver los problemas técnicos y al mismo tiempo propugnar una estética que cualifique el entorno de su emplazamiento. En este sentido muchos ejemplos se convierten en valores apreciables, cuando no en iconos patrimoniales.

Los puentes de hierro –para montar en las obras de canalización de la provincia- merecen la atención en este escrito, en tanto forman parte del patrimonio construido de la Provincia de Buenos Aires, reuniendo la estética, la función y la técnica del siglo pasado.

El Canal 15 en el partido de Castelli, comenzó a construirse en el año 1902 como parte de un plan de obras destinado a prevenir las inundaciones periódicas que generaba el Río Salado en la Provincia de Buenos Aires. Con la finalización de la obra, hecha a pala de buey, se inauguraron dos puentes de hierro:

- El puente del km 331.00 o del Callejón (hoy puente de Pascua)
- El puente del km 112.00 o del 15 (hoy Puente de Uranga)

Comprendiendo el contexto histórico y territorial, el objetivo del presente trabajo es realizar una evaluación del estado actual de ambos puentes, analizando aspectos desde el punto de vista estructural y metalúrgico de los materiales y los procesos



utilizados en la construcción. Al mismo tiempo, se determinó la concentración de iones cloruros y sulfatos en el agua del Canal 15, ya que los mismos son agentes agresivos que pueden provocar la degradación del hormigón y la corrosión del acero.

En este contexto las estructuras de hierro sufren diversos inconvenientes que las vuelven obsoletas o inconvenientes para continuar cumpliendo su función a lo largo del tiempo.

Dependiendo de la naturaleza del metal y el territorio en el que se halla, asimismo el diseño y los mecanismos de protección empleados, puede variar el grado de corrosión y deterioro general de sus componentes.

2. CONTEXTO HISTÓRICO Y TERRITORIAL

El tema de las inundaciones en el territorio bonaerense, es un debate de larga data. A fines del Siglo XIX Florentino Ameghino había advertido la necesidad de atender la cuestión de los drenajes, no solo por las inundaciones sino por las áreas secas, ya que algunas quedaban inundadas mientras muchas otras se hallaban desérticas [2], por ello la importancia de canalizar y retener las aguas más que desaguarlas al río.

En atención a esta situación, en 1896 se creó la Dirección de Desagües de la Provincia de Buenos Aires, antecedente de la Dirección de Hidráulica, consignada para intervenir en la regulación de las consecuencias de lluvias como del régimen hídrico dominante, con escasas o nulas pendientes, específicamente en la cuenca del Río Salado. (Fig. 1).

El área que se denomina cuenca del río Salado se “desarrolla en la faja central y Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, abarcando un área de aproximadamente 170.000 km² [3]. Ha sido definida como una depresión aulacógena, generada en el Mesozoico a partir de la apertura del océano Atlántico [...]. A partir del Jurásico tardío [...] junto a una serie de ciclos transgresivos-regresivos posibilitaron la sedimentación que en su sector central alcanza los 7000 m. de espesor [4]. Estos ciclos han propiciado la conformación del territorio actual. (Fig. 1).

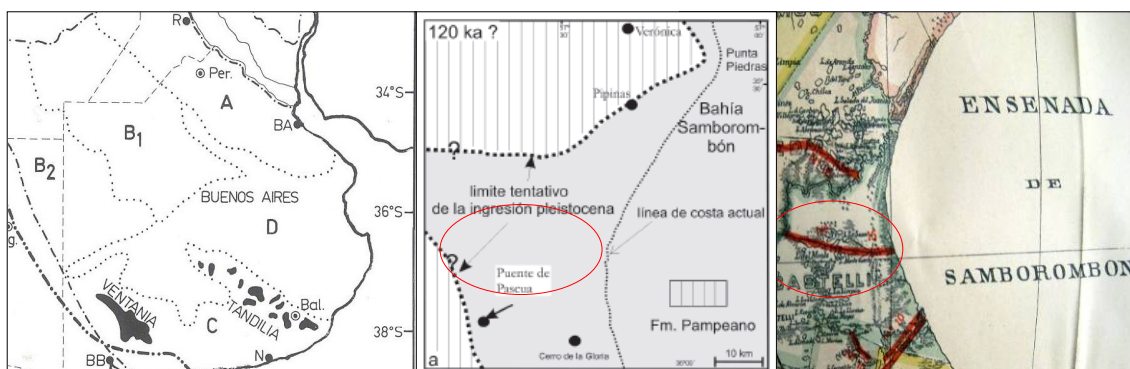


Figura 1: (Izq.) Mapa con la Subdivisión de la Región Pampeana. Fuente: Hall et al., en INTA. 1992. (centro) Secuencia evolutiva del sector centro-norte de la bahía Samborombón. Fuente: Fucks et al (2010). (Der.) Plano de ubicación del canal N° 15. Fuente: Dirección de Desagües (1911).

En este contexto el río Salado es el colector principal de esta zona inundable. Su cauce insuficiente para conducir el agua hacia el mar, la inmensa cuenca con escasa pendiente y con una tortuosa desembocadura hacia la ensenada de Samborombón, –



junto a otros fenómenos- es causante de los desbordes, inundando las zonas aledañas, afectando grandes extensiones de áreas rurales valiosamente productivas.

2.1 Las obras. Canales de Desagües.

El primer antecedente hallado es del año 1877, con una gran inundación. Cuestión que motivó estudios para contrarrestarlas. “En 1881 el gobierno contrató los servicios del Ingeniero Waldorp, para estudiar las obras que evitaran las inundaciones, y a los ingenieros Lavalle y Medici para levantar la altimetría de la zona” [5].

Para mejorar las condiciones emergentes de las inundaciones, el gobierno de la Provincia de Buenos Aires comenzó a realizar en 1893 las tratativas legales para sanear el área, y construir las obras. Al respecto, la Ley N° 2486 “Obras de desagües en el sud de la provincia” autorizó el 3 de diciembre de 1892“ al Poder Ejecutivo para proceder a practicar las obras de desagües en la parte sud de la provincia que sufra o sea susceptible de sufrir inundaciones” [6].

“El artículo 13 del Decreto de enero de 1896, reglamentario de la Ley de desagües, establece que a la Dirección de Desagües le corresponde formar y someter al Poder Ejecutivo el plan definitivo con sujeción al cual, se llevaran a cabo las obras de desagües en los distritos de la provincia susceptibles de sufrir inundaciones” [7].

La Dirección de Desagües, dependiente del Ministerio de Obras Públicas, estuvo a cargo de los estudios y proyectos para las obras correspondientes. Para ello designó una comisión técnica en el año 1899 presidida por el ingeniero Nyströmer, quien hizo una propuesta de diecinueve canales, que fue evaluada por la Legislatura provincial.

En el año 1900 “la dirección de desagües autorizada por Ley de 24 de septiembre de 1900, llamó a licitación pública para la construcción de las obras de desagües y los correspondientes trabajos accesorios” [8]

2.2 Los Puentes de Hierro sobre el Canal Aliviador N° 15.

El canal de desagüe N° 15 –aliviador del río Salado-, tiene por objeto bajar el nivel de las aguas en el tronco inferior del río Salado y evitar los desbordes sobre los campos. Esta ubicado en el partido de Castelli entre la ruta provincial N°2 y la ruta provincial N° 11, tiene su inicio en el arroyo del Callejón en el río, dirigiéndose al mar donde desemboca atravesando la bahía –o ensenada- de Samborombon. (Fig. 2).

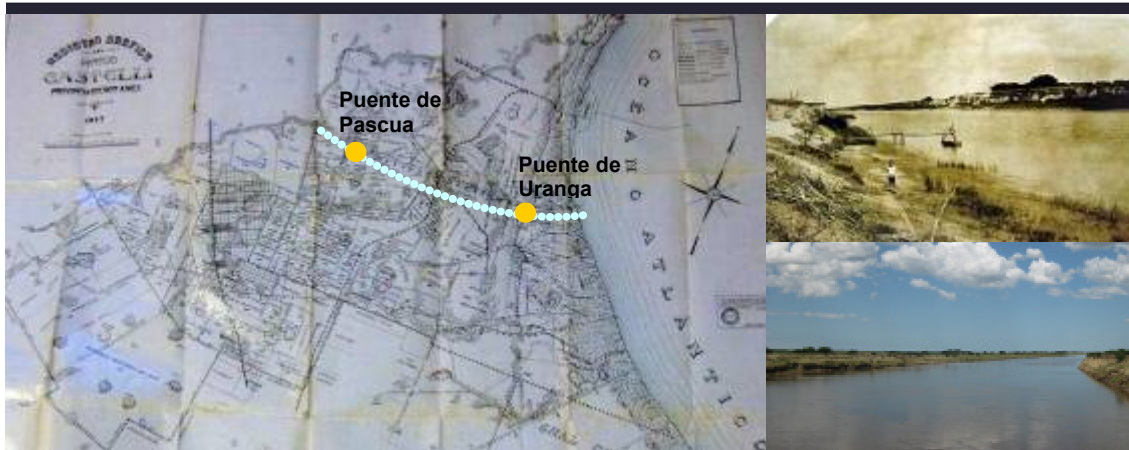


Figura 2 - (der.) Partido de Castelli, canal N° 15, localización de los puentes. Fuente: MIPBA, carpeta N° 1 (1917). (izq. Sup.) Canal N° 15, a inicios de su construcción Fuente: Taube (2010). (izq. Inf.) Canal N° 15 actual. Fuente: fotos del autor (2013).

“El canal tiene un largo de 34 Km. y su sección transversal varia de 17 a 23 metros de ancho en el fondo y de 31 a 43 metros a nivel del terreno” [9]. La tierra de la excavación fue depositada en los laterales, formando terraplenes de 6 metros, los que contribuyeron a contener los desbordes hacia los campos adyacentes.

Sobre este canal se dispusieron dos puentes carreteros, uno se halla ubicado sobre el camino del Callejón, en el Km. 331.50, cercano a la embocadura del canal. El otro, situado en el km 112.00, a corta distancia del medano, para atravesar los caminos rurales. “su construcción responde completamente a la de los últimos modelos que se ejecutan en Europa de acero y cemento armado. Ofreciendo la belleza y proporciones que han alcanzado estas obras en el viejo continente” [10].

La estructura de fundación de las obras de arte fue in situ, de mampostería, y la superestructura de los mismos, realizada en hierro, fue encargada y contratada en Europa. Los cimientos y demás construcciones, así como el montaje de la parte metálica, se ejecutaron por administración.

2.3 Puente de Pascua (Km. 331.00), Castelli, Buenos Aires.

El puente esta ubicado sobre el canal N° 15, a 15.00 km de la ciudad de Castelli. Consta de tres tramos, de 55,60 metros de luz central y de 44,64 metros los laterales, siendo de 158 metros la longitud total, incluyendo los estribos. La altura es de 10 metros. La calzada original era de adoquín de piedra con un ancho de 5,30 metros. Los estribos y muros de vuelta son de mampostería, asimismo los pilares de fundación. (Fig. 3).

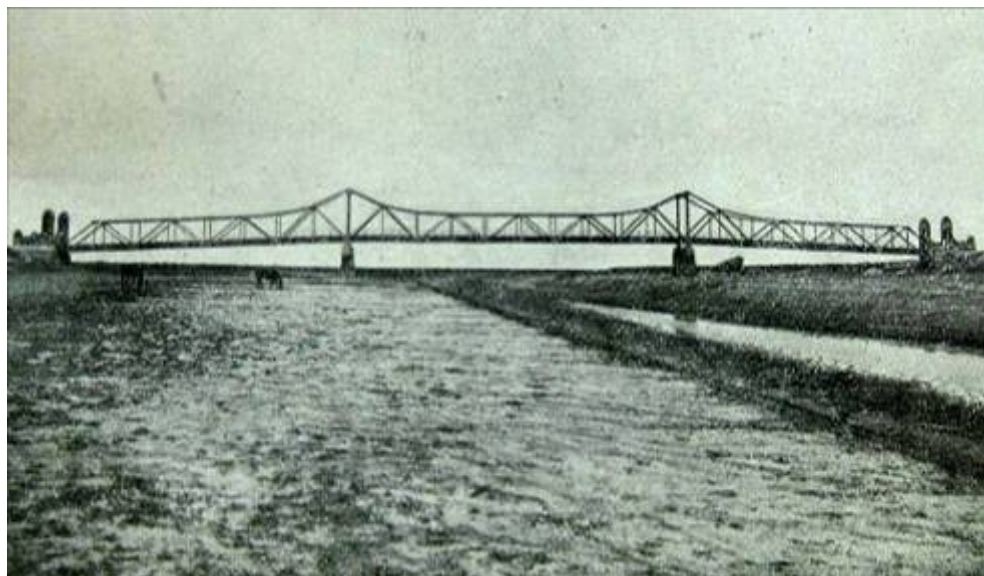


Figura 3 - Puente de Pascua en el año 1922. Reparación y pintura.
Fuente: Dirección de Desagües (1925)

En septiembre de 1910 se autorizó la circulación por este puente. Al respecto, el Poder Ejecutivo resolvió: "Autorizar a la Dirección y Administración de Desagües para librar al servicio público el puente construido en el kilómetro 331.00, sobre el canal N° 15 [11].

El puente fue reparado, en particular la calzada, que fue reemplazada por placas de hormigón premoldeado, con cordones laterales que reducen el ancho del paso. (Fig.4).



Figura 4 - Puente de Pascua. Fotos del autor (2013).

2.4 Puente de Uranga (Km. 112.00), Castelli, Buenos Aires.

El puente está situado en el extremo del canal N° 15, cercano a la desembocadura, a 46.00 km de la ciudad de Castelli. Consta de tres tramos, el tramo central de 45 metros de luz, y 10 tramos laterales que en total miden 46 metros. En total, la longitud es de 137 metros (Fig. 5).

El puente fue autorizado a abrir su paso el 12 de agosto de 1910, "en vista de la nota de la Dirección de Desagües y Administración de Desagües, el Poder Ejecutivo



resuelve: autorizar [...] librar al servicio público el puente construido en el kilómetro 112 del canal N°15" [12].



Figura 5 - Puente de Uranga 1922. Fuente: Dirección de Desagües (1925).

En la década del '90 se debió cambiar la estructura de fundación del puente de Uranga en el Km 112.00, debido a que presentaba mucha inestabilidad, impidiendo el tránsito sobre el mismo, aunque se mantuvo la superestructura de hierro original, en parte gracias al pedido de los vecinos, quienes no querían que fuera derribado, sino que se recuperara al máximo posible, ya que forma parte de la memoria colectiva de los lugareños y representa un exponente del patrimonio de la provincia de Buenos Aires. (Fig. 6).



Figura 6 - Puente de Uranga (antes del reemplazo de las fundaciones)
Fuente: Archivo y Museo de Castelli (1980). Fotos actuales del autor (2013).

3. EVALUACIÓN DE PATOLOGÍAS

3.1 Técnicas Empleadas

La evaluación de la estructura del acero se realizó mediante microscopía óptica y electrónica de barrido (SEM), usando espectroscopía de energía dispersiva de rayos X (EDS) para la caracterización de las inclusiones no metálicas. Las microestructuras fueron reveladas mediante el reactivo Nital, consistente en una solución de ácido nítrico en alcohol al 2% en volumen. La determinación de iones cloruro (Cl^-) y sulfato (SO_4^{2-}) en el agua del canal se llevó a cabo mediante el procedimiento establecido por la Norma IRAM 1 601/86.



3.2 Análisis de los estudios realizados

3.2.1 Inspección visual

En el reconocimiento visual realizado se observó que ambos puentes están conformados por perfiles de acero ensamblados por roblonado, como se observa en la Fig. 7. Se observó también la existencia de partes soldadas adicionales a las estructuras, las que son indicios de las reparaciones realizadas. La pintura que protege a los puentes muestra signos de deterioro por su exposición al ambiente, lo que ha conducido a que se inicien procesos corrosivos en el acero.



Figura 7 - Estructura roblonada del puente de Pascua (Km. 331.00), con signos de corrosión. Fuente: fotos del autor

El puente de Pascua (Km 331.00) conserva la base de mampostería original, la que presenta agrietamientos en diversas partes del puente (Fig. 8).



Figura 8 - Vista de las bases de mampostería del puente de Pascua (Km. 331.00).

La degradación observada podría atribuirse a la acción de iones sulfato, los que mediante una reacción de intercambio iónico, se combina con el Ca del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ liberado por el cemento, para formar sulfato de calcio (CaSO_4). La formación de CaSO_4 genera una expansión en el hormigón que provoca su agrietamiento [13]. De esta forma, la estructura de hierro que constituye la armadura del hormigón queda



expuesta al ataque de los iones Cl^- , provocando su corrosión. El ataque por sulfatos presenta una apariencia blanquecina característica, como se destaca en la Fig. 8.

En el caso del puente de Uranga (Km. 112.00), se observa una base de hormigón que denota una reparación reciente (Fig. 9).



Figura 9. Puente de Uranga (Km. 112.00).

3.3 Análisis del Acero del Puente Uranga (Km. 112.00)

La Fig. 10 muestra el corte longitudinal de la muestra extraída del puente, donde se observan dos tipos de inclusiones no metálicas, alargadas y globulares, que de acuerdo a la Norma ASTM E 45 corresponden a inclusiones de tipo sulfuro y óxido, respectivamente.

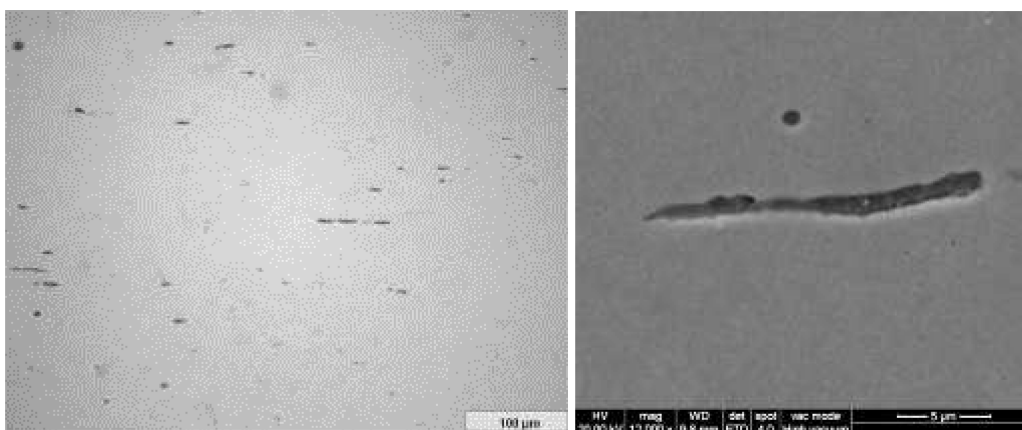


Figura 10. Inclusiones presentes en el acero analizado.

Las inclusiones alargadas fueron analizadas mediante espectroscopia de energía dispersiva de rayos X (EDS), para cuantificar su composición y clasificarla en forma más precisa. En el espectro obtenido, ilustrado en la Fig. 11, se destacan los picos de azufre y manganeso, confirmando que se trata de inclusiones de tipo sulfuro de manganeso.

La gran cantidad de inclusiones sulfuro mostrada en la Fig. 1, revela un alto contenido de azufre en la composición del acero. Esta característica era típica de los aceros fabricados entre fines del Siglo XIX y principios del Siglo XX, debido a que los



procesos de fabricación se realizaban con escorias ácidas, con alto contenido de SiO_2 , mientras que para eliminar el azufre se requieren escorias básicas, con altos contenidos de CaO .

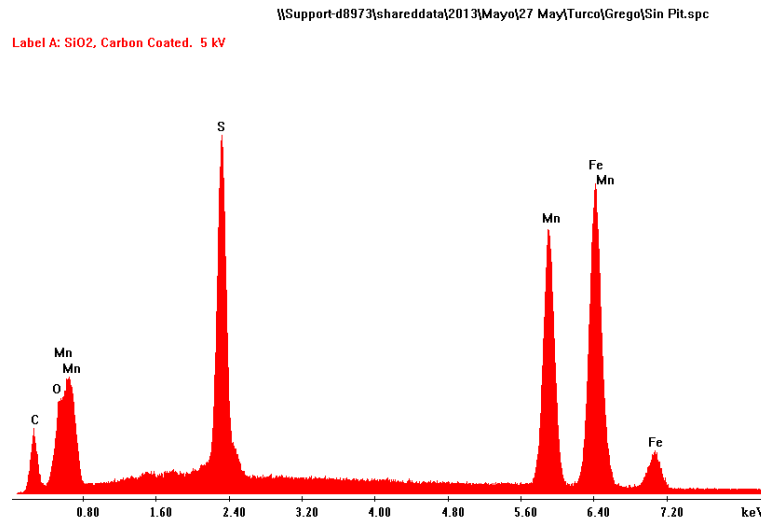


Figura 11 - Espectro obtenido por EDAX.

La microestructura del acero se muestra en la Fig. 12, en la que se observa una estructura compuesta mayoritariamente por la fase ferrita (Fe_α), con presencia de la fase perlita. La perlita está conformada por Fe_α y carburo de hierro (Fe_3C) y se la observa como una fase oscura en los bordes de grano de la ferrita.

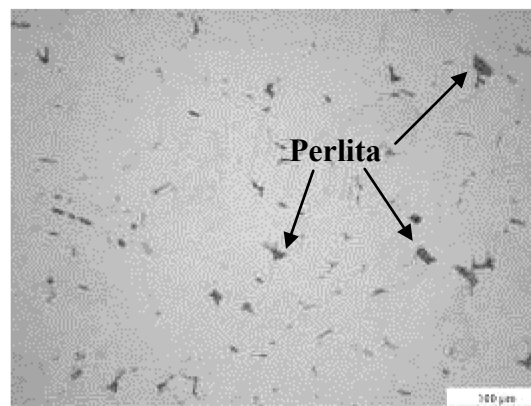


Figura 12 - Microestructura del acero del puente de Pascua (Km. 331.00) revelada por reactivo Nital.

El bajo contenido de perlita en la microestructura revela el bajo porcentaje de carbono del acero.

3.4 Análisis del Acero del Puente de Uranga (Km. 112.00)

En la Fig. 13 se muestra el corte longitudinal de la muestra extraída del puente, observándose una gran cantidad de inclusiones no metálicas de tipo óxido y de tipo sulfuro. La alta densidad de inclusiones indica que se trata de un acero con alto



contenido de azufre y oxígeno. Por otro lado, la microestructura revelada por ataque químico muestra una estructura totalmente ferrítica, con una muy baja cantidad de perlita en los bordes de grano, lo que indica que se trata de un acero con muy bajo contenido de carbono.

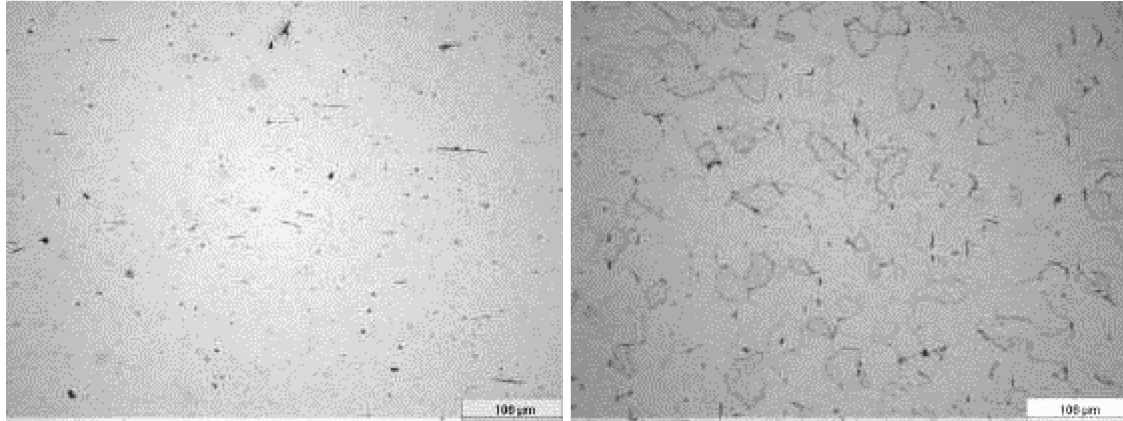


Figura 13 - Izquierda: Inclusiones no metálicas. Derecha: Microestructura revelada por reactivo Nital.

Con el objetivo de comparar los aceros analizados en el presente trabajo con los actuales, en la Fig. 14 se observa la estructura de un perfil similar a los cuales se construyeron ambos puentes.

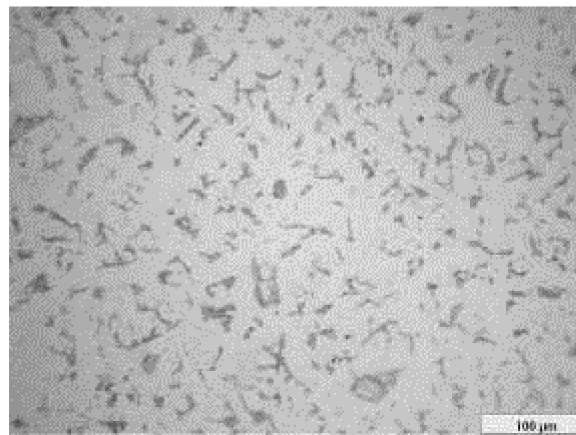


Figura 14. Estructura de un acero correspondiente a un perfil actual.

En la estructura se observa una mayor cantidad de perlita, lo que denota un mayor contenido de carbono, al tiempo que también se aprecia una menor cantidad de inclusiones no metálicas.

3.5 Análisis del agua del Canal 15

Con el fin de evaluar el medio en el que se encuentran ambos puentes, se realizó un análisis del agua para determinar los niveles de iones Cl^- y SO_4^{2-} , ya que los mismos provocan procesos corrosivos en los aceros y la degradación del hormigón. La concentración de estos iones puede variar de acuerdo a la estación del año en el que se toman las muestras, encontrándose importantes variaciones de concentración entre



períodos húmedos y secos [14]. Las muestras del presente trabajo fueron tomadas en el mes de mayo, en la orilla de ambos puentes y los resultados se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Concentración de iones Cl^- y SO_4^{-2}

Muestras	Concentración de Cl^-	Concentración de SO_4^{-2}
Puente de Pascua	436 mg/dm ³	370 mg/dm ³
Puente de Uranga	421 mg/dm ³	333 mg/dm ³

Las concentraciones de iones Cl^- y SO_4^{-2} presentes en el agua del Canal 15 pueden ser los causantes de la corrosión observada en las estructuras de acero, así como también de la degradación observada en la mampostería del puente de Pascua.

La velocidad de corrosión de los aceros ante la presencia de iones Cl^- es directamente proporcional a la concentración de los mismos. En el caso de los iones SO_4^{-2} , la velocidad de corrosión alcanza a un máximo para concentraciones 12N, disminuyendo con el aumento de la concentración del ácido [15].

3.6 Otras observaciones

En el puente de Pascua (km 331.00) se observaron líquenes depositados sobre la pintura de la superficie de hierro, los mismos corresponden a las siguientes especies: Ramalina celastrii; Punctelia microsticta y Canomaculina consors [16]. Estos organismos son comunes en mampostería, no así en superficies metálicas, al momento se desconoce su origen.

4. CONSIDERACIONES FINALES

De los análisis metalográficos realizados, se desprende que los aceros que conforman la estructura de los puentes contienen una alta densidad de inclusiones no metálicas y un muy bajo contenido de carbono. Estas microestructuras son características de los aceros elaborados con tecnologías de fines del Siglo XIX y principios del Siglo XX, con las que no se tenía un buen control del nivel de oxígeno y carbono de los aceros, así como tampoco del contenido de inclusiones no metálicas. Por consiguiente, se puede concluir que, tanto el puente de Pascua como el puente de Uranga, conservan buena parte de su estructura original. Por otro lado, se considera que las concentraciones de iones Cl^- y SO_4^{-2} en el agua del Canal 15 podrían ser las causas de la degradación de la estructura de hormigón y de la corrosión observada en los puentes.

Para finalizar se debe decir que el control de inundaciones en la pampa deprimida, y de cualquier territorio susceptible de ser inundable, continúa siendo un tema de vital importancia, en términos territoriales, ambientales, sociales y económicos.

Los 19 canales distribuidos en la planicie hace más de un siglo, siguen manteniendo una relevancia sustancial en la escala local, del mismo modo que en la microrregión y en la provincia. En ese contexto, los puentes -que aun subsisten- representan el servicio y la prestación, más allá del hecho patrimonial. Si bien se evidencia un deficitario mantenimiento de los componentes, ambos puentes son frecuentemente circulados por diferentes tipos de transportes y cargas a diario.

Si bien se puede concluir que el estado general de ambos puentes es apto para su uso, se debe aclarar que el escaso mantenimiento, sumado al uso frecuente implica un deterioro y degrado acelerado, haciendo proclive su obsolescencia.



AGRADECIMIENTOS

Al LEMIT-CIC por el apoyo económico brindado para la realización del trabajo.
Dra. Rosato, Vilma; Lic. García, Renato; Parodi, Victor por los diferentes análisis en laboratorio LEMIT-CIC.
Dirección de Hidráulica y saneamiento (MIPBA). Sección Dolores.
Sr. Céspedes, Martín; Sra. Uranga, Julia; Sr. Uranga, Santiago; Archivo y Museo Municipal de la Ciudad de Castelli por las fotografías y documentación referente a la historia oral y escrita sobre el sitio y los puentes.

REFERENCIAS

- [1] Ameghino, F. (1969) "Las Secas y las Inundaciones en la Provincia de Buenos Aires. Obras de retención y no de desagües". Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires 1884 – 1984. Tercera Edición. La Plata.
- [2] Ibídem [1].
- [3] INA-Instituto Nacional del Agua (2012) "Evaluación de las Inundaciones y las Obras De Drenaje en la Cuenca del Salado (Prov. Buenos Aires) Mediante Modelación Numérica". Laboratorio de Hidráulica. Proyecto LHA 331 Informe LHA 01-331-12. Subsecretaria de Recursos Hídricos Secretaría de Obras Públicas República Argentina, p 7.
- [4] Cingolani, C.A., 2005. Unidades Morfoestructurales (y estructuras menores) de la Provincia de Buenos Aires. En De Barrio, R., Etcheverry, R., Caballé, M y Llambías, E. (Edits.) Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, pp 21-30.
- [5] La ingeniería Centro Nacional de Ingenieros (1900 – 1918) "La Ingeniería". Tomo I a X. Revistas N° 382 a 395, p 449.
- [6] Kezelman, Federico y De Souza, Rodolfo (Compiladores) (1931). "Colección Completa de Leyes del Estado y provincia de Buenos Aires". Tomo XII: Leyes N° 2363 – 2495, sancionadas durante los años 1890 a 1894. Talleres Gráficos Sudamericanos. Buenos Aires. Argentina, p. 590.
- [7] La ingeniería Centro Nacional de Ingenieros (1900 – 1918) "La Ingeniería". Tomo I a X. Revistas N° 382 a 395, p 114.
- [8] Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires (1900). Sección Dirección de Desagües. Expediente 8.68.79. Archivo de Geodesia, p 1.
- [9] Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires (1911) Obras de Desagües de la Provincia de Buenos Aires. Inauguración del Canal N° 15 y Visita a los Canales N° 9 y 10, p. 31.
- [10] La ingeniería Centro Nacional de Ingenieros (1914) "La Ingeniería". Tomo I a X. Revistas N° 382 a 395, p 432.
- [11] Registro Oficial Provincia de Buenos Aires (1910). La Plata Taller de Impresiones Oficiales, p 781.
- [12] Registro Oficial Provincia de Buenos Aires (1910). La Plata Taller de Impresiones Oficiales, p 686.
- [13] Baltasar M. A., Almeraya-Calderón F., Orozco Carmona V., Nieves Mendoza D., Gaona Tiburcio C., Borunda Terrazas A., Martínez Villafañe A., Corrosion rate evaluation on steel in concrete exposed to sulfate solutions, Portugaliae Electrochimica Acta, 22, (2004), pp 335-344.
- [14] Traversa L. P., Iloro F. H., Márquez S., Sota J. D., Patologías de puentes de hierro contruidos entre fines del Siglo XIX y principios del Siglo XX, Anales 1º Congreso ALCONPAT, Argentina, 2013.
- [15] Metals Handbook, Corrosion, Vol. 13, 9th Edition, (1992), p 1271.
- [16] Dra Rosato, Vilma y Lic. García, Renato. Análisis en laboratorio LEMIT-CIC.